

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月26日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22780003

研究課題名（和文） 日本水稲品種「山田錦」が保有する特性の遺伝解析

研究課題名（英文） Genetic analysis of characteristics in a Japanese rice cultivar “Yamadanishiki”

研究代表者 山崎 将紀（YAMASAKI MASANORI）
神戸大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号：00432550

研究成果の概要（和文）：水稲品種「山田錦」は酒米として現在も栽培され、日本酒造りに重要な心白を有し、大粒で、晩生であり、現代品種には見られなくなった特徴を数多く保有している。本研究は「山田錦」の特性である心白、晩生に着目した。「コシヒカリ」を遺伝的背景とし、「山田錦」ゲノムを網羅する一連の染色体断片を導入した染色体断片置換系統群を作出すると同時に、心白と晩生の遺伝解析を行った。

研究成果の概要（英文）：The Japanese rice cultivar “Yamadanishiki” is popular with Japanese sake-brewing. This cultivar is characterized by many traits that are not observed in modern rice cultivars: the opaque structure in the center of rice grains called as “white core” and large grains for the sake-brewing, and late heading date. We conducted genetics analyses of white core and late heading in “Yamadanishiki” using a set of “Yamadanishiki” chromosomal segment substitution lines with “Koshihikari” genetic background.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,900,000 | 570,000 | 2,470,000 |
| 2011年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2012年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・育種学

キーワード：「山田錦」、酒米、心白、晩生、「コシヒカリ」、戻し交雑集団、マーカー選抜、QTL（量的形質遺伝子座）

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本水稲品種群の表現形質の多様性やDNA多型などの遺伝的多様性は明確に存在することが最近の研究でわかってきた（Yamasaki and Ideta (2013) Breeding Science、山崎 (2012) 育種学研究、出田ら (2012) 育種学研究）。これまで「日本水稲品

種群の遺伝的多様性は非常に狭い」と推察されてきたが、DNA塩基配列ならびにDNA多型を最新の手法で詳細に調べてみると、「日本水稲品種群の遺伝的多様性は狭くない」ことがわかってきた。次世代シーケンサーによるリシーケンスとSNP（一塩基多型）分析により集団のDNA多型が大量に取得できるようになってきており、日本水稲品種群でもこの

多型情報を十分に利用した DNA マーカー選抜育種が可能になってきた。一方、現在の日本の水稲育種は近年育成された品種同士の交雑に由来するものが多く、表現形質や遺伝的多様性の拡大が必要である。

(2) 申請者は水稲品種「山田錦」に注目した。この品種は 1936 年に当時の兵庫県立農事試験場で育成され、日本酒醸造に好適な品種として知られている。DNA 多型を使った集団構造解析の結果「山田錦」は交雑育種で育成された品種であるが、近代育種が始まった当時の日本水稲在来品種に由来する対立遺伝子を多く保有していることがわかってきた (Yamasaki and Ideta (2013) Breeding Science)。

2. 研究の目的

(1) 以上の研究背景から、日本で現在作付面積がトップである食用米品種「コシヒカリ」とは異なる遺伝子もしくは対立遺伝子を多く有していると推察された。「山田錦」が保有する有用と考えられる形質（心白、晩生、大粒）を積極的に育種に利用するため、「コシヒカリ」を遺伝的背景とした「山田錦」染色体部分置換系統群を作成すると同時に、有用形質の遺伝分析を行うことを目的とした。

(2) 「山田錦」に見られる、最も特徴のある形質は心白であり、食用米品種「コシヒカリ」等には見られない。この心白とは玄米の中央部だけが白色不透明となった部分のことであり、「山田錦」は日本酒作りに適した心白米が発生し易い（心白率 70%以上）。心白米は吸水時に亀裂を生じ、この亀裂部分から蒸し米内部へ麹菌糸が入り易いため、麹造りに望ましい形質とされている。しかしながら、心白の遺伝的機構は不明な点が多い。この機構が明らかになれば、心白の発現を目的とした効率的な酒米の DNA マーカー育種が可能になる。

「山田錦」の大粒である特徴は、酒造りのために注目されているが、別の利用を考慮すると収量の増加につながると考えられる。粳や玄米を大きくする遺伝子・QTL として、*GS3* (粳や玄米の長さ)、*qSW5* (粳や玄米の幅) があるが、以前の QTL (量的形質遺伝子座) 解析の結果 (Yoshida *et al.* (2002) Breeding Science)、それらの領域には QTL が検出されていないため、別の遺伝子・QTL の存在が推察される。

「山田錦」が晩生である特徴も汎用性が高い。最近食用米品種において、高温登熟によるコメの品質低下が目立つようになってきた。これを回避する手段の一つとして、播種

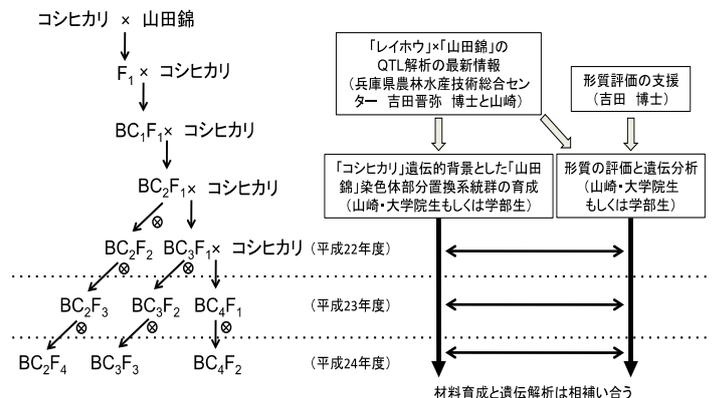
や田植え時期を遅らせることが地域によっては奨励されている。しかしながら、播種や田植え時期を遅らせることは、従来生産者が行ってきた生産のサイクルにズレが生じるという欠点がある。「山田錦」が保有する晩生の対立遺伝子を「コシヒカリ」に導入した系統を作成し、高温登熟回避のための一つの手段として貢献できると考えられる。また、良食味である「コシヒカリ」を栽培したいとしても、その特徴である早生が適していない地域があり、晩生タイプの「コシヒカリ」が普及できると考えられる。

「コシヒカリ」と比較して、得られた染色体部分置換系統を一つずつ詳細に分析することにより、導入された「山田錦」の染色体断片に含まれる特異的形質を発見できると考えられる。つまり、今回注目している 3 つの形質（心白、晩生、大粒）だけではなく、他の形質の発見が期待される。

3. 研究の方法

(1) 日本水稲品種「山田錦」が保有する特性に関わる遺伝子または QTL を同定するために、分析材料として、戻し交雑や自殖と DNA マーカー選抜を用いて、「コシヒカリ」を遺伝的背景とした「山田錦」染色体部分置換系統群を作成していく。系統群作成の過程で、各形質と「山田錦」染色体断片の残存状況を調査した上で、候補となる系統もしくは個体を選抜し、その後代を用いて各特性に関与する遺伝子・QTL を同定する。

(2) 日本水稲品種「コシヒカリ」と「山田錦」との交雑 F_1 に、「コシヒカリ」を反復親に使った連続戻し交雑を行ってきた。戻し交雑と自殖を行っていくと同時に、形質評価と DNA マーカー選抜を行った (下図参照)。



(3)各個体の出穂期と心白を測定し、DNA マーカー遺伝子型とを比較し、QTL 領域の推定を行った。特に心白測定については、兵庫県農林水産技術総合センター 吉田晋弥博士の協力を賜った。本実験材料は3カ年全て兵庫県加西市の神戸大学大学院農学研究科附属食資源教育研究センターで栽培された。

4. 研究成果

(1)「コシヒカリ」を遺伝的背景とした「山田錦」染色体部分置換系統群は最終年度でBC₄F₂, BC₃F₃, BC₂F₄世代まで順調に進められた。系統群作出の過程で「山田錦」染色体断片の残存状況をDNA マーカーで調査し、候補となる個体を選抜し、種子増殖を現在行っている。

(1)心白の遺伝解析

①心白の発現は一般に環境に振れやすいことが、予測されている。平成22～平成24年度は気候が大幅に変動したため、心白発現も大きく変動した。具体的には、「山田錦」の心白発現率は44.0%(平成22年(H22))、70.2%(平成23年(H23))、44.3%(平成24年(H24))であり、一方の「コシヒカリ」は9.3%(H22)、1.5%(H23)、2.7%(H24)であった。一般に「山田錦」の心白発現率は70%前後、「コシヒカリ」の心白発現率は5%以下と言われている。H22とH24は登熟期に高温であったため、障害を受けたと考えられた。

②交雑組み合わせは本研究とは異なるが、「レイホウ」×「山田錦」由来の交雑系統群を使ったQTL解析を行った結果、計4箇所のQTL(染色体2、6、9、12にそれぞれ1箇所ずつ)が推定されている(Yoshida *et al.* (2002) *Breeding Science*)。この情報を元に、「コシヒカリ」を遺伝的背景とした「山田錦」染色体部分置換候補個体から、QTL領域がヘテロ若しくは「山田錦」ホモに固定した個体を選抜し、その個体若しくは後代を使って、心白発現率を調査した。

まず各QTL領域が単独で「山田錦」ホモに固定した個体や後代を、複数年に渡って調査した。その結果安定して心白発現を示す系統は存在せず、複数QTLによる作用で心白を発現すると推察できた。

4箇所のQTLがあるので、様々なQTL組み合わせによる個体若しくはその後代を、複数年に渡って調査した。安定して心白発現をするQTL組み合わせとして染色体6と9の2箇所のQTL領域が「山田錦」ホモに固定した個体が候補となった。一方、染色体部分置換系統の育成過程で複数年にわたって、「山田錦」と同等の心白発現を有する非常に安定した個体ならび系統を見いだした。この系統の

QTL領域は全て「コシヒカリ」ホモに固定していた。

以上のことから、心白発現に関わる遺伝的作用は想像以上に複雑かつ環境によって振れやすいことがわかり、慎重な分析が求められることがわかった。しかし、心白発現には染色体6と9の2箇所のQTL領域が最有力となった。

③前項で見いだされた、複数年にわたって安定した心白高発現個体と、比較対象のために心白低発現個体のゲノムワイドな遺伝子型調査を行った。計84箇所のSSR(Simple sequence repeat)やSNPマーカーを使用し、「山田錦」染色体断片の残存状況を調査した。BC₂F₂ならびにBC₂F₃個体であったため、「山田錦」染色体断片は複数領域残存していたが、染色体6と9のQTL領域に特徴がみられた。つまり心白高発現個体は両QTL領域が「山田錦」ホモに固定していた。前項で候補QTL領域近傍のSSRマーカーが全て「コシヒカリ」ホモに固定し、かつ心白が安定して発現していた個体も染色体6と9のQTL領域が「山田錦」ホモに固定していたことが確認できた。その理由として、DNAマーカーの初期選抜の際に使ったSSRマーカーと心白発現QTLとの間に組換えが生じていたことが明らかとなった。

一方、酒米品種・系統を用いたゲノムワイドアソシエーション解析の結果でも、染色体6と9の同じQTL領域に心白発現との関連が検出されており、両QTLは「山田錦」と「コシヒカリ」間でのみ心白発現に効果の差があるだけでなく、酒米の心白発現に共通であることを示唆するものである。更なる遺伝解析は必要であるが、以上のことから、酒米品種を育成する際にこの2箇所のQTL近傍のDNAマーカーを用いて、安定した心白発現をする個体を効率的に選抜できると考えられた。

(2)晩生の遺伝解析

「山田錦」は「コシヒカリ」に比べて、約20日出穂期が遅く、H22～H24の3カ年と比較しても非常に安定していた。育成している戻し交雑集団とDNAマーカーによる遺伝解析の結果、染色体3に座乗する*Hd6*と*Hd16*、染色体6に座乗する*Hd17*が両品種の出穂期の差に大きく関与することが明らかとなった。またその原因となるDNA多型を特定した。その他にも関与しているQTLがあると推察されているが、同定には到っておらず、更なる遺伝解析が必要であった。

(3)大粒について

育成している戻し交雑集団中に、目視で「コ

シヒカリ」より明らかに大粒である個体もしくは千粒重が重い個体を見いだしているが、関与する QTL の特定までは到れなかった。さらに育成系統を精査する必要があると考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

①Yamasaki M. and O. Ideta (2013)
Population structure in Japanese rice population.
Breeding Science (査読有)
vol. 63: pp. 49-57. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1270/jsbbs.63.49>

②山崎将紀 (2012)
穀物における選抜遺伝子および農業形質関連遺伝子の解析手法の開発
育種学研究 (査読有)
vol. 14: pp. 121-127.

③出田収・河野いずみ・竹内善信・平林秀介・平山正賢・太田久稔・佐藤宏之・安東郁男・加藤浩・根本博・矢野昌裕・井邊時男・山崎将紀・吉田智彦 (2012)
日本水稻品種の SSR マーカー多型に基づく分類および近縁係数と遺伝的距離との関係.
育種学研究 (査読有)
vol. 14: pp. 106-113.

④山崎将紀 (2012)
神戸大学の産官学連携による、神戸大ブランド日本酒造り
日本醸造協会誌(査読無)
vol. 107: pp. 347-348.

[その他]
ホームページ等
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~yamamasa/index.html>

x.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 将紀 (YAMASAKI MASANORI)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：00432550

(2) 研究協力者

吉田 晋弥 (YOSHIDA SHIN-YA)
兵庫県農林水産技術総合センター・
農産園芸部・研究主幹
研究者番号：20463341